

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-168

(43)公開日 平成6年(1994)1月11日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

A 61 B 5/05

識別記号 庁内整理番号

B 8932-4C

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数11(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-162816

(22)出願日 平成4年(1992)6月22日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 吉岡 仙次

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 小澤 一雅

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(72)発明者 横田 憲克

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

(74)代理人 弁理士 秋本 正実

最終頁に続く

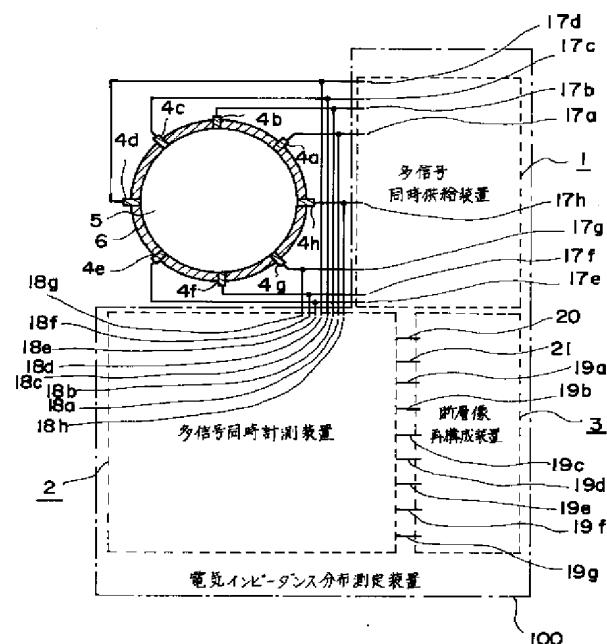
(54)【発明の名称】 電気インピーダンス分布測定方法およびその装置

(57)【要約】

【目的】 電気インピーダンスCT法で用いる電位分布データを高速に収集し、再構成画像の精度を高める。

【構成】 測定対象物5の周囲に多数の電極4a～4hを配置し、多信号同時供給装置1から各電極に異なる周波数の電気信号を同時に印加する。多信号同時計測装置2は、測定対象物5の周囲電位を同時に測定し、断層像再構成装置3は、測定した電位の周波数分析を行って、各周波数に対する測定対象物5の周囲の電位分布の測定値を求める。そして、測定対象物5の内部状態を表す電気インピーダンス分布の断層像を数値計算により再構成する。

【図1】電気インピーダンス分布測定装置の全体構成



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** 測定対象物の周囲に設けられた複数の電極に特徴量の異なる複数の電気信号を印加し、各電極から同時に計測した電気信号を前記特徴量で弁別し、弁別した電気信号から測定対象物の断層像を作成することを特徴とする電気インピーダンス分布測定方法。

**【請求項2】** 測定対象物の周囲に設置される複数の電極と、各電極に特徴量の異なる電気信号を印加する信号源と、電気信号の印加によって測定対象物から各電極を通して得られた信号前記特徴量にて弁別する手段と、弁別して得た信号から前記測定対象物の断層像を再構成する装置とを備えたことを特徴とする電気インピーダンス分布測定装置。

**【請求項3】** 請求項1の複数の特徴量の異なる電気信号を印加する方法として、電気インピーダンスの大きい測定対象物が移動する電気絶縁性の管路に複数個（N個）の電極を設け、基準電極とその他の電極との間に夫々単方向導通素子を通して特徴量の異なる電気信号を印加することを特徴とする電気インピーダンス分布測定方法。

**【請求項4】** 請求項2の信号源は、前記電極数より1つだけ少なく用意され、各信号源の陰極は共通に基準電極に接続され、各信号源の陽極は夫々が対応する電極に夫々単方向導通素子を介して接続されることを特徴とする電気インピーダンス分布測定装置。

**【請求項5】** 請求項1または請求項3において、入力電気抵抗が絶縁体程度となる電気的な基本特性を有する差動増幅回路を前記電極数Nに対してN-1個用い、各差動増幅回路の陰極を共通接続して前記電極のうちの基準電極に接続し、各差動増幅回路の各陽極を基準電極以外の対応する電極に接続して、測定対象物からの前記電極から得られる電気信号を同時に測定することを特徴とする電気インピーダンス分布測定方法。

**【請求項6】** 請求項2または請求項4において、入力電気抵抗が絶縁体程度となる電気的な基本特性を有する差動増幅回路を前記電極数Nに対してN-1個設け、各差動増幅回路の陰極を共通接続して前記電極のうちの基準電極に接続し、各差動増幅回路の各陽極を基準電極以外の対応する電極に接続したことを特徴とする電気インピーダンス分布測定装置。

**【請求項7】** 請求項1または請求項3または請求項5において、断層像を再構成するとき、並列かつ分散した信号計測系統から得た複数個の電気信号を周波数分析し、信号源側の周波数に対応する信号応答（振幅と位相）を解析し、信号源の接続位置に対応する電位分布（振幅と位相）の測定値を求め、電位分布の測定値、信号源の接続位置と前記周波数を用いて測定対象物の電気インピーダンス分布の断層像を再構成することを特徴とする電気インピーダンス分布測定方法。

**【請求項8】** 請求項2または請求項4または請求項6

において、断層像を再構成するとき、並列かつ分散した信号計測系統から得た複数個の電気信号を周波数分析する手段と、信号源側の周波数に対応する信号応答（振幅と位相）を解析する手段と、信号源の接続位置に対応する電位分布（振幅と位相）の測定値を求める手段と、電位分布の測定値、信号源の接続位置と前記周波数を用いて測定対象物の電気インピーダンス分布の断層像を再構成する手段とを備えることを特徴とする電気インピーダンス分布測定装置。

**【請求項9】** 測定対象物を接触状態で包囲する測定セルと、該測定セルの周囲に前記測定対象物に電気的に接触する状態で設けられた複数の電極と、電極の内の基準電極とその他の各々電極との間に夫々が他の電気信号と識別できる特徴量を持つ電気信号を同時に印加する信号源と、各信号源から電気信号が測定対象物に印加されたときに基準電極と他の各電極との間に現れる電位信号を同時に並列に取り込む信号取込手段と、取り込んだ信号を前記特徴量にて弁別して前記測定対象物の断層像を再構成して画面に表示する表示手段とを備えることを特徴とする電気インピーダンスCT装置。

**【請求項10】** 請求項9において、測定対象物の計測を行って断層像を再構成する動作を所定周期毎に行って、移動する測定対象物の立体断層像を再構成する手段を備えることを特徴とする電気インピーダンスCT装置。

**【請求項11】** 測定対象物を接触状態で包囲する測定セルと、該測定セルの周囲に所定間隔ずらした複数のライン夫々に前記測定対象物に電気的に接触する状態で設けられた複数の電極と、電極の内の基準電極とその他の各々電極との間に夫々が他の電気信号と識別できる特徴量を持つ電気信号を同時に印加する信号源と、各信号源から電気信号が測定対象物に印加されたときに基準電極と他の各電極との間に現れる電位信号を同時に並列に取り込む信号取込手段と、取り込んだ信号を前記特徴量にて弁別して前記測定対象物の立体断層像を再構成して画面に表示する表示手段とを備えることを特徴とする電気インピーダンスCT装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【産業上の利用分野】** 本発明はX線CTや超音波CT等のような断層撮影方法及びその装置に係り、特に、原子炉やボイラ等の気液二相流中のボイド率分布等の様に高速に計測しなければならない被検体の断層撮影に好適な電気インピーダンス分布測定方法及びその装置に関する。

**【0002】**

**【従来の技術】** 人体や動植物等の生体の断層を撮影したり、各種物体の中の空孔率の分布を測定したり、非破壊検査や液体中の物体の探索等を目的として、X線CTや超音波CTが実用化されている。しかし、X線CTや超

音波CTは、測定対象物をX線や超音波で走査するためには1回の計測に時間がかかり、静止体の断層撮影にしか用いることができない。つまり、原子炉やボイラ等の気液二相流の気相体積割合であるボイド率分布を測定することはできない。このような高速流体の断層撮影には、短時間に計測することができる電気インピーダンス（特に電気導電率）の分布を測定し、これから断層像を得る電気インピーダンスCT（Computed Tomo-graphy：断層像再構成）が好適である。

【0003】従来の電気インピーダンスCTは、特開昭59-17329号公報に記載されている。この従来技術では、測定対象物の周囲に複数個の電極を配置し、電位分布を発生させるために、電気励振用の信号源（電流源、電圧源）を各電極間に順次に印加し、電極間の電位測定を順次行っている。信号印加と電位測定に関するスキャン（走査）の組合せは多く、スキャン方式を用いた全測定時間は、例えば、この従来技術では、1456秒である。

【0004】尚、電気インピーダンスを計測する従来技術として、特開昭63-3838号、特開昭63-3839号、特開平2-216441号等があるが、これらの従来技術は、計測した電気インピーダンスの値から測定対象物の断層像を再構成するものではない。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】測定対象物が静止体である場合、データの収集時間にかかわらず、同一の物理現象を表すデータを収集できる。同一現象のデータを採用する限り、本質的に、像再構成処理では、断層像の不鮮明さや再構成不良を生じない。しかし、測定対象物が移動体である場合、例えば、混相流の流体計測を行なう場合、前記のようにスキャン方式の信号印加、電位測定では測定時間がかかるという問題がある。つまり、1回のスキャン中に測定対象物が移動してしまうので、収集したデータは時間のずれ即ち位置のずれが生じてしまい、このデータから像を再構成しても正確で鮮明な画像を得ることはできない。従って、要求される時間分解能に応じてデータ収集の全測定時間を短くしなければならないが、スキャン方式では測定時間の大幅な短縮化ができない、データ収集の高速化を望めない。

【0006】本発明の目的は、高速に移動する被測定体でもその断層撮影を高精度に行うことのできる電気インピーダンス分布測定方法及びその装置を提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的は、測定対象物の周囲に設けられた複数の電極に特徴量の異なる複数の電気信号を同時に印加し、各電極間で計測した電気信号を前記特徴量で識別し、測定対象物の断層像を再構成することで、達成される。

#### 【0008】上記目的はまた、多信号同時供給手段と、

多信号同時計測手段と、断層像再構成手段とを組合せることで、達成される。

【0009】ここで、多信号同時供給手段としては、單方向導通素子（順方向の電気抵抗が導体程度を示し、逆方向の電気抵抗が絶縁体程度となる電気的な基本特性を有する電気回路素子、例えば、ダイオード）を用いる。次に、1つの单方向導通素子と1つの信号源を直列に接続する（以下、これを直列素子という。）。さらに、前記の直列素子を複数個もちいて、前記の直列素子の陰極の全てを共通に接続して、この陰極を測定対象物の外周に設置した1つの電極に接続する。さらに、直列素子の陽極を測定対象物の外周に設置した残りの電極にそれぞれ配置する。このようにして、設置した電極を介して、複数個の互いに異なる電気信号（例えば周波数を違える。）を並列かつ分散して測定対象物に同時かつ独立に印加する。

【0010】また、多信号同時計測手段としては、電気インピーダンスの大きい測定対象物が流れる電気絶縁性の管路に複数個（N個）の電極を設け、入力電気抵抗が絶縁体程度となる電気的な基本特性を有する差動增幅回路を複数個（N-1個）用い、前記の差動增幅回路の陰極の全て（N-1個）を1つに接続して共通点を形成し、前記の共通点を前記の電極の1個に接続し、さらに前記の差動增幅回路のN-1個の陽極を前記の共通点が接続された電極以外のN-1個の電極にそれぞれ接続して、管路内の測定対象物からの複数の電気信号を同時かつ安定にまた感度良く測定するとともに、複数個の電気信号の独立な測定の組合せを簡単化して測定する。

【0011】断層像再構成手段としては、前記の多信号同時計測手段を用いて収集した複数個（N-1個）の並列かつ分散する信号計測系統からの複数の電気信号を例えば周波数分析して、多信号同時供給手段でもちいたい励振信号の周波数に対応する信号応答を解析し、励振信号源の供給位置に対応する電位分布（振幅と位相）の測定値を求め、前記の電位分布（振幅と位相）の測定値、信号源の接続位置と励振周波数を用いて測定対象物の電気インピーダンスの断層像を再構成する。

【0012】尚、前記の管路（配管）の壁を貫通させて測定対象物に接触するように管路内周に電気導電性の電極を複数個（N個）2次元または3次元に配置する。電気インピーダンスの大きい測定対象物が流れる管路（配管）の材料に電気絶縁性の材料を適用する。

#### 【0013】

【作用】電気インピーダンスCT法で用いる正常な電位分布（同一現象を表す同時刻のデータ、または時間分解能に優れたデータ）を発生・収集するには、多種類の励振信号を電気抵抗の大きい測定対象物に同時かつ安定に感度良く与え、同時に計測し、多種類の励振信号の信号源に対応する電位分布を弁別することで、断層像を高精度に再構成することができる。

【 0014 】この場合、測定対象物の電気抵抗が大きいと、同時に印加する各信号源の内部の電気抵抗が悪い影響を及ぼし、信号が測定対象物に流れずに接続した各信号源に流入してしまうことがある。そこで、単方向導通素子を使用することで、この悪影響を回避することができる。

【 0015 】多信号同時供給手段は、次の様に動作する。直列素子はダイオードの特性と同様な信号の伝達特性を示す。各信号源の信号は、各信号源と直接に接続されているダイオードの順方向に伝達され、ダイオードの逆方向伝達阻止特性により、直接接続以外のダイオードに流れ込みず、測定対象物に全て流れる。したがって、各信号源の内部の電気抵抗に影響されず、測定対象物に電気信号を同時に供給できる。しかも、信号印加の独立な配置が可能となる。

【 0016 】多信号同時計測手段は、次の様に動作する。入力電気抵抗が絶縁体程度となる電気的な基本特性を有する差動增幅回路を用いるので、差動增幅回路の電気抵抗に影響されず、測定対象物に複数個の電気信号を同時に供給できるとともに、測定対象物から複数個の電気信号を多信号を同時に測定できる。差動增幅回路の  $N-1$  個の陽極を前記の共通点が持つので、複数個の電気信号の独立な測定の組合せを簡単化できる。

【 0017 】断層像再構成手段は、次の様に動作する。同時供給と同時計測から得たデータから電気インピーダンス CT に必要な独立な電位分布を弁別する。信号応答として振幅だけでなく位相も弁別するので、電位分布の測定値して振幅だけでなく位相の情報を用いた電気インピーダンス CT の再構成計算が可能となる。したがって、インピーダンス（または、アドミタンス）分布として、抵抗（または、コンダクタンス）分布のみでなくリアクタンス（または、サセプタンス）分布を求めることができる。

#### 【 0018 】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面を参照して説明する。図 1 は、本発明の第 1 実施例に係る電気インピーダンス分布測定装置の全体構成図である。図 1において、1 は多信号同時供給装置を示し、測定対象物に多くの信号を並列かつ分散させて同時に供給する。2 は多信号同時計測装置を示し、測定対象物からの多くの信号を並列かつ分散させて同時に計測する。3 は断層像再構成装置を示し、多信号同時計測装置 2 で収集したデータを処理して、測定対象物の内部の電気インピーダンス分布を現す断層像を再構成する。4 a～4 h は電気導電性のある電極（例えば白金、ステンレスなどの導体）、5 は測定対象物（例えば、水一空気、水一蒸気などの混相流。尚、生体等の静止体も断層撮影可能であるのは勿論である。）、6 は測定セル（例えばセラミック、アクリルなどの絶縁体の管路、生体例えば腕の断層を計測するときは、可撓製のバンドに電極を埋め込み、これを腕に

巻いて測定セルとする。）をそれぞれ示す。図 1 では、電気インピーダンス CT 法の計測法を適用するために、測定対象物 5 を内部に流す測定セル 6 の内周面に、複数個 N（例えば N=8 個）の電極 4 a～4 h を設置した構成を示す。

【 0019 】多信号同期供給装置 1、多信号同時計測装置 2 および断層像再構成装置 3 の内部構成図を図 2 に示す。図 2 において、多信号同期供給装置 1 は信号源 7 a～7 g の組合せにより構成する。信号源 7 a～7 g は、例えば、互いの信号を区別するため、それぞれ異なる周波数 f a～f g の信号を発振する。一例として、図 1 6 に、無負荷の各信号源の信号波形を示す。尚、各信号源の信号波形として、図 1 7 に示すようなデジタル信号も使用可能である。

【 0020 】多信号同期供給装置 1 の構成要素は、前記の電極数 N 個（例えば N=8 個）に合せて、N-1 個（図 2 では例えば N-1=7 個）で構成される。信号源 7 a～7 g の陰極（-）の全てを 1 つに結束し、信号源 7 a～7 g の陽極（+）をそれぞれ N-1 個に分離する。図 2 に示すように、信号源 7 a～7 g の陰極（-）は、測定セル 6 の電極 4 h にまとめて配線（配線 1 7 h）し、信号源 7 a～7 g の陽極は、夫々対応する電極 4 a～4 g に配線（配線 1 7 a～1 7 g）する。配線 1 7 a～1 7 g は、電気励振信号の並列に分散する供給経路を形成する。このようにして、多信号同期供給装置 1 は電極 4 h を基準に、残りの各電極 4 a～4 g を介して、測定対象物 5 の周囲から測定対象物 5 を同時に電気励振する構成とする。

【 0021 】図 2 において、多信号同期計測装置 2 は、1 0 a～1 0 g、1 1 a～1 1 g、1 2 a～1 2 g、1 3 に示す 4 種類の回路素子の組合せより構成する。1 0 a～1 0 g はアナログ信号をサンプルしてホールドするサンプル・ホールド回路であり、前記の電極数 N 個（図示の例では N=8 個）に合せて N-1 個（=7 個）の構成としてある。1 1 a～1 1 g はアナログ信号をデジタル信号に変換するアナログ・ディジタル（AD）変換器であり、N-1 個（=7 個）の構成としてある。1 2 a～1 2 g はデジタル信号を記憶するバッファ・メモリであり、N-1 個（=7 個）の構成とする。1 3 はサンプル・ホールド回路 1 0 a～1 0 g、AD 変換器 1 1 a～1 1 g、バッファ・メモリ 1 2 a～1 2 g を制御する制御ユニット（例えばマイクロプロセッサー）である。

【 0022 】多信号同期計測装置 2 は、スキャン方式によるデータ収集（例えば、電位測定）の欠点を解消し同時にデータ収集を実現するために、サンプル・ホールド回路-AD 変換器-バッファ・メモリで構成する並列かつ分散の信号計測系統を N-1 個の複数個（図 2 の例では 7 系統）装備する。サンプル・ホールド回路 1 0 a～1 0 g は、図 2 に示すように、夫々の陰極の全てを 1 つに結合し、夫々の陽極は夫々の N-1 個に分離する構成

となっている。前記の陰極の結束点（配線18h）と、前記の各信号源7a～7gの陰極の全ての結束点（配線17h）を共通に接続して電気的な導通状態を与え、これを電極4hに接続する。

【0023】また、サンプル・ホールド回路の各陽極（配線18a～18g）は、各信号源7a～7gの各陽極（配線17a～17g）と電気的な導通状態にして各電極4a～4gに配線する。配線18a～18gは、電気信号の並列に分散する計測経路を形成する。このようにして、多信号同時計測装置2は、電極4hを基準に、残りの各電極4a～4gの電位を同時に検出して計測する構成とする。

【0024】図2において、断層像再構成装置3は、例えば14, 15, 16で構成する。14はデータ転送及び数値解析などを行なうデータ処理用計算機（例えばマイクロコンピューターあるいはその複合体）である。15はデータ表示及び解析結果の出力などを行なうディスプレイベイユニット（例えばCRT）である。16はデータ処理用計算機に指令を与えるキーボードである。断層像再構成装置3は、同時にサンプルされたデータから電位分布の測定値を演算して求める。この演算手順のフローチャートが図5である。また、電位分布の測定値から断層像を再構成するときの演算手順のフローチャートが図6である。これらのフローチャートについては後述する。

【0025】次に、この第1実施例に係る電気インピーダンス分布測定装置100の基本動作を説明する。先ず、多信号同時供給装置1は、測定対象物5の周囲から電気励振用の多信号を同時に与える。多信号同時計測装置2は、測定対象物5の内部の電気インピーダンス分布に応じて、測定対象物5の周囲に発生する電位分布を同時に測定する。断層像再構成装置3は、電位分布の測定値を用いて、測定対象物5の内部の電気インピーダンス分布を求める。

【0026】多信号同時供給装置1の詳細動作を説明する。図2の構成では、前記の各信号源7a～7gの陰極をすべて共通に結束し、この共通の接続点を電極4hに電気配線している。また、各信号源7a～7gの陽極は、電極4h以外の対応する電極4a～4gそれぞれに接続している。さらに、各信号源7a～7gは、例えば、正弦波の励振周波数fa～fgにより区別している。このため、各信号源7a～7gの信号は、各信号源の陽極→各信号源の陽極を配線した電極→測定対象物5→各信号源の陰極に配線した電極→各信号源の陰極の経路を流れる。つまり、信号源7aの信号は、信号源7a→電極4a→測定対象物5→電極4h→信号源7a、の経路で流れる。他の信号源の信号の経路も同様である。

【0027】多信号同時計測装置2の詳細動作を説明する。図2に示すように、サンプル・ホールド回路10a～10gの陽極がそれぞれ電極4a～4gに配線され、10a～10gの陰極が電極4hに配線されているの

で、サンプル・ホールド回路10a～10gは、電極4hの電位を基準とした電極4a～4gの電位を、N-1個の信号計測系統により並列かつ分散して検出する。制御ユニット13は、サンプル・ホールド回路10a～10gに同時のサンプルホールド信号（配線22の信号）を周期的に与える。サンプル・ホールド回路10a～10gは、N-1個の信号計測系統の電位の検出信号を周期的にサンプル及びホールドし、対応するAD変換器11a～11gに入力する。

【0028】制御ユニット13は、AD変換器11a～11gに、前記のサンプルホールド信号に調和したAD変換信号（配線23の信号）を与える。AD変換器11a～11gは、サンプル及びホールドされたアナログ信号をデジタル信号に変換し、バッファ・メモリ12a～12gに記憶する。制御ユニット13は、バッファ・メモリ12a～12gに記憶されたデジタル信号のデータを、断層像再構成装置3を構成するデータ処理用計算機14のメイン・メモリにDMA(DirectMemory Access)方式により高速転送する。このようにして、多信号同時計測装置2はサンプル・ホールド回路10a～10gで検出する多信号を並列かつ分散的に処理して同時に計測するよう作動する。一例として、図7に各信号計測系統a～gの同時サンプル電圧波形を示す。

【0029】次に、図2、図5、図6を用いて、断層像再構成装置3の動作を説明する。断層像再構成装置3を構成するデータ処理用計算機14は、キーボード16の指令により、多信号同時計測装置2の制御ユニット13を制御し、前記したように同時計測したデータをDMA転送によりメイン・メモリに転送する。

【0030】図5は、同時計測したデータから電位分布の測定値を求める処理手順を示すフローチャートである。先ず、断層像再構成装置3は、メイン・メモリから各信号計測系統a～gの同時計測したデータを読み込む（ステップ501）。同時計測したデータは信号源7a～7gの周波数fa～fgに関する情報を有するので、各信号計測系統ごとの同時計測したデータを周波数分析し、振幅および位相のスペクトルを求める（ステップ502）。一例として、図8に、信号計測系統dのサンプル信号の周波数分析結果を示す。

【0031】各信号計測系統ごとの振幅および位相のスペクトルは、多信号同時供給装置1の信号源7a～7gが例えば单一の周波数fa～fgの正弦波で区別されている場合、周波数fa, …, fgで振幅および位相のピークを有するので、周波数fa～fgについて、振幅と位相の大きさを抽出する（ステップ503）。前記の振幅と位相の組合せより、信号源7a～7gの電気励振信号の入力に対応する複素電位分布の測定値 $\phi_{ma} \sim \phi_{mg}$ を算出する（ステップ504）。前記の測定値 $\phi_{ma}, \dots, \phi_{mg}$ は、それぞれ電気励振の周波数fa, …, fgに関するものである。一例として、図9～図15に、夫々の

$\text{ma}$ , ...,  $\phi \text{mg}$ を示す。

【0032】図6は、断層像を再構成する処理手順を示すフローチャートである。測定対象物の内部の電気インピーダンス分布として、複素電気導電率 $\sigma$ の分布を仮定する（ステップ601）。複素電気導電率 $\sigma$ の分布を用いて、測定対象物の周囲に接続した信号源7a～7gを境界条件として、信号源7a～7gの各入力信号に対応する信号応答として測定対象物の周囲（電極）に発生する複素電位分布の計算値 $\phi_{\text{ca}} \sim \phi_{\text{cg}}$ を解析する（ステップ602）。複素電位分布の測定値 $\phi_{\text{ma}} \sim \phi_{\text{mg}}$ と計算値 $\phi_{\text{ca}} \sim \phi_{\text{cg}}$ を比較し（ステップ603）、その誤差が最小になるように複素電気導電率 $\sigma$ の分布を補正する（ステップ604）。

【0033】電位分布の測定値と計算値の誤差があるレベル以下になるまで、複素電気導電率 $\sigma$ の分布を補正する最適化を繰り返す（ステップ602、603、604）。最適化された複素電気導電率 $\sigma$ の分布（または $\sigma$ の分布をインピーダンス分布に変換したもの）をディスプレィユニット16に出力する（ステップ605）。このようにして、測定対象物の内部の電気インピーダンス分布を求め、断層像を再構成できる。

【0034】図3は、本発明の第2実施例に係る電気インピーダンス分布測定装置の全体構成図である。測定対象物5が極めて大きい電気インピーダンスをもつようになる場合、本実施例では、各信号源7a～7gの陽極と、測定セルの電極4a～4gとの間に、ダイオード8a～8gを挿入し、サンプル・ホールド回路10a～10gの前段に、高入力インピーダンスを有する入力バッファ・アンプ（例えば、FET（Field Effect Transistor）電界効果トランジスタ）入力型インスツルメンテーション・アンプと呼ばれる差動増幅器（入力インピーダンス： $10^{12} \Omega$ 以上）を挿入し、各入力バッファ・アンプ9a～9gの陰極の全てを1つに結束してこれを各信号源7a～7gの陰極結束点に配線18hにて接続してある。その他の構成は、第1実施例と同様である。

【0035】本実施例における多信号同時供給装置1の動作を説明する。多信号同時供給装置1を構成する各ダイオード8a～8gは、図4に示す電圧と電流の基本特性を持つ。図4において、順方向の電流（IF）は順方向の電圧（VF）に対して流れ易い。順方向の電気抵抗は前記の測定対象物や測定セルの電気抵抗に比べて大変に小さく導体程度である。また、逆方向の電流（IR）は逆方向の電圧に対してブレークダウン電圧（VB）まで流れない。ブレークダウン電圧（VB）未満の逆方向の電気抵抗は、絶縁体程度（抵抗率 $10^9 \Omega \text{m}$ 以上）であり、前記の測定対象物（例えば純水の抵抗率 $2.5 \times 10^5 \Omega \text{m}$ ）などの電気抵抗値より大きい。

【0036】この第2実施例では、ダイオードの電気特性を活用するため、図3において、ダイオードと信号源を直列に接続した複数の直列素子（7aと8a、7bと

8b、...、7gと8gの直列接続）を構成する。各直列素子においては、ダイオードに直列に配線した信号源がダイオードの順方向電圧を示すとき、順方向の電流が流れる。また、各信号源の逆方向電圧は各ダイオードのブレークダウン電圧（VB）をこえないよう信号レベルを設定するので、各直列素子の逆方向の電流は前記のダイオードの電気特性により流れない。さらに、図3における多信号同時供給装置1の構成では、各直列素子の陰極のすべてを共通に接続して、この共通の接続点を電極4hに接続している。また、各直列素子の陽極は電極4h以外の電極4a～4gそれぞれに接続している。このため、各直列素子の信号（順方向の電流）は、各直列素子の陽極→各直列素子の陽極を接続した電極→測定対象物5→各直列素子の陰極を接続した電極の経路で流れ、各直列素子の信号源に帰還する。

【0037】直列素子の信号（順方向の電流）は、前記の共通接続点の設置構成とダイオードの逆方向電圧特性により、別の直列素子の陽極には流入せず、測定対象物5の内部のみに分布する。これは、例えば、信号源7aの信号（順方向の電流）に対して、直列素子7bと8b、7cと8c、7dと8d、7eと8e、7fと8f、7gと8gの電気回路が存在しないことに等価である。信号源7aの信号は同時に接続した信号源の内部の電気抵抗に影響をまったく受けず、測定対象物5の内部に分布して、信号源7aに関する電位を電極4a～4hに発生する。信号源7aについて述べたが、信号源7b～7gについても同様に動作し、同時に接続した信号源の内部の電気抵抗に影響を受けず、測定対象物5に分布して、信号源7b～7gに関する電位を電極4a～4hに発生する。電極4a～4hには、電気回路網の重ね合せの定理により、周波数で区別した信号源の電位が重畠する。したがって、図3の多信号同時供給装置1を用いれば、測定対象物の周囲から多信号を同時に与えて、測定対象物の内部の電気インピーダンス分布に対応して各入力信号の電位分布を同時に測定対象物に発生できる。また、測定対象物の内部の電気インピーダンスや信号源の使用台数、内部電気抵抗に影響されず、多信号を測定対象物に安定かつ十分に与えることができる。

【0038】第2実施例の多信号同時計測装置2の動作を説明する。図3に示すように、2の入力バッファ・アンプ9a～9gの陽極は電極4a～4gに配線され、9a～9gの陰極は電極4hに配線されているので、アンプ9a～9gは電極4hの電位を基準に電極4a～4gの電位を差動で検出する。また、アンプ9a～9gは前記したように高入力インピーダンスとなるので絶縁体のごとく働き、多信号同時供給装置1の信号源7a～7gの信号（電流）はアンプ9a～9gの陽極には流入せず、電極4a～4gを介して測定対象物5に流入する。したがって、入力バッファ・アンプ9a～9gの接続に影響されず、電極4hの電位を基準に電極4a～4gの

電位を安定に検出できる。入力バッファ・アンプ 9 a～9 g の差動信号はそれぞれ並列に分散してサンプル・ホールド回路 10 a～10 g に入力する。以後の処理は第 1 実施例と同様である。

【0039】尚、上述した実施例では、測定対象物のある平面での断層像の再構成について述べたが、所定時間間隔で複数回計測を繰り返すことで、立体断層像を再構成できることはいうまでもない。また、複数の電極を移動体の移動方向に複数ライン設けることで、同時の計測で一度に立体断層像が得られることも勿論である。

#### 【0040】

【発明の効果】本発明（請求項 1, 2）によれば、スキャン方式の信号印加や電圧測定を用いず、電気インピーダンス CT 法で用いる時間ずれのない正常な電位分布（同一現象を表す同時刻のデータ、または時間分解能に優れたデータ）を得ることができ、短時間で精度の高い断層像を得ることが可能となる。従って、静止体は勿論、高速移動体であっても高精度の断層像計測ができる。

【0041】また、本発明（請求項 3, 4）によれば、スキャン方式の信号印加を用いず、測定対象物に対して定常状態の電気励振が常に達成できるので、信号の切り替え（スイッチング）時に生じる電気的な過渡現象を排除または防止し、その影響を全く受けず、複数個の電気信号を安定に供給できる効果がある。また、複数個の電気信号を測定対象物の周囲から並列かつ分散させて同時に与えることができるので、複数個の電気信号の入力に対応する複数個の電位分布を測定対象物の周囲に時間のずれなく発生できる効果がある。また、複数個の電気信号の独立な接続または印加を常に構成するので、複数個の電気信号の独立な接続または印加の選び方・制御を簡単化・簡略化する効果がある。また、複数個の電気信号を測定対象物へ並列に配線する場合も、測定対象物の電気抵抗の大きさ、電気励振用の信号源の使用台数やその内部電気抵抗の大きさに影響されず、測定対象物の内部の変化を検出する電気信号を測定対象物へ安定かつ十分に与える効果が大きい。

【0042】更に本発明（請求項 5, 6）によれば、スキャン方式の電位測定を用いず、複数個の電位分布を並列かつ分散して同時にサンプルするので、時間ずれのない同時刻の複数個の電位分布を収録かつ分析できる効果が大きい。また、並列かつ分散して収録するので、電位測定の高速化が達成でき、測定時間を極めて短くできる効果がある。また、入力電気抵抗が絶縁体程度である差動増幅器素子を装備し、これを複数個使用できるので、測定対象物の周囲の電位分布を緻密に測定できる効果が大きい。また、電位測定の共通の接続点を持つ構成により、電位測定の独立の選び方・制御を簡単化・簡略化する効果がある。

【0043】更に本発明（請求項 7, 8）によれば、並

列かつ分散して同時にサンプルされたデータから複数個の電気信号源の入力に対する電気信号応答（振幅ならびに位相の特性）が識別できるので、測定対象物の内部の電気インピーダンスの成分、特に抵抗とリアクタンスの成分を容易に区別できる効果がある。また、複数個に並列かつ分散してデータから複数個の電気信号源の対する電気信号応答の組合せより、複数個の電気信号源に対する測定対象物の周囲の電位分布（振幅ならびに位相の分布）を簡単に算出できる効果がある。また、電気信号源の周波数、電位分布（振幅ならびに位相の分布）の測定値を考慮して断層像を再構成できるので、抵抗分布だけでなくリアクタンス分布を求めることができ、これらの合成と照合により測定対象物の内部構造を電気インピーダンス分布として識別しやすい効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係る電気インピーダンス分布測定装置の全体構成図である。

【図2】図1の詳細部分も記載した図である。

【図3】図3は本発明の第2実施例に係る電気インピーダンス分布測定装置の全体構成図である。

【図4】ダイオードの電気特性図である。

【図5】電位分布の測定値を求める計算フローチャートである。

【図6】電位分布の測定値から断層像を再構成する計算フローチャートである。

【図7】各信号計測系統の同時サンプル電圧波形図である。

【図8】信号計測系統 d のサンプル信号の周波数分析結果を示す図である。

【図9】複素電位分布の測定値  $\phi_{ma}$  のグラフである。

【図10】複素電位分布の測定値  $\phi_{mb}$  のグラフである。

【図11】複素電位分布の測定値  $\phi_{mc}$  のグラフである。

【図12】複素電位分布の測定値  $\phi_{md}$  のグラフである。

【図13】複素電位分布の測定値  $\phi_{me}$  のグラフである。

【図14】複素電位分布の測定値  $\phi_{mf}$  のグラフである。

【図15】複素電位分布の測定値  $\phi_{mg}$  のグラフである。

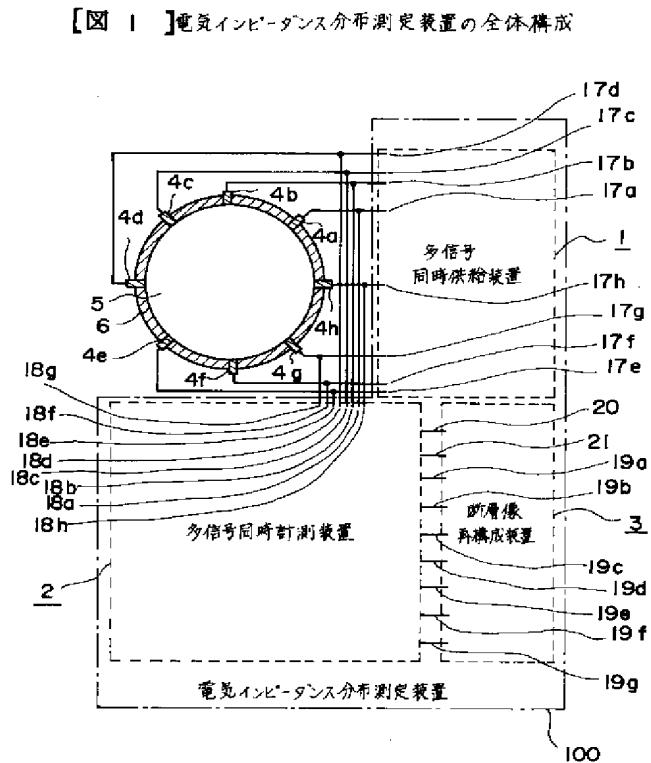
【図16】無負荷時の各信号源の信号波形図である。

【図17】無負荷時の各信号源のデジタル信号波形図である。

#### 【符号の説明】

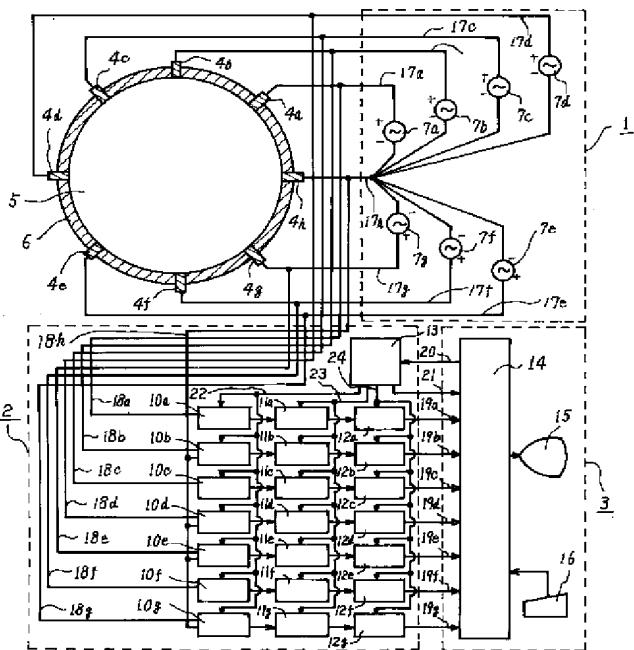
1…多信号同時供給装置、2…多信号同時計測装置、3…断層像再構成装置、4 a～4 g…電極、5…測定対象物、6…測定セル、7 a～7 g…電気励振用の信号源、8 a～8 g…ダイオード、9 a～9 g…入力バッファ・アンプ、10 a～10 g…サンプル・ホールド回路、11 a～11 g…アナログ・ディジタル変換回路、12 a～12 g…バッファ・メモリ、13…制御ユニット、14…データ処理用計算機、15…ディスプレイユニット、16…キーボード、100…電気インピーダンス分布測定装置。

【図1】



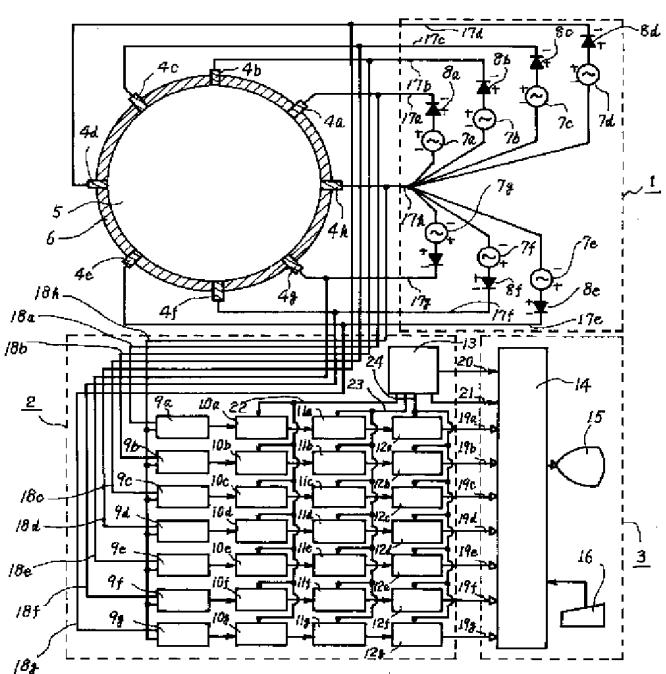
【図2】

【図2】電気インピーダンス分布測定装置の各ブロックの基本構成

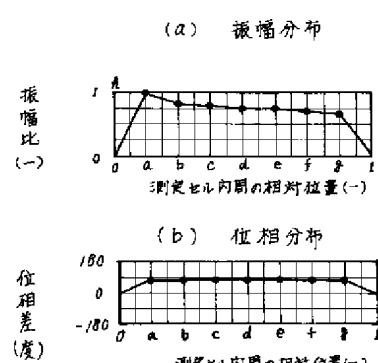


【図3】

【図3】電気インピーダンス分布測定装置の各ブロックの変形構成

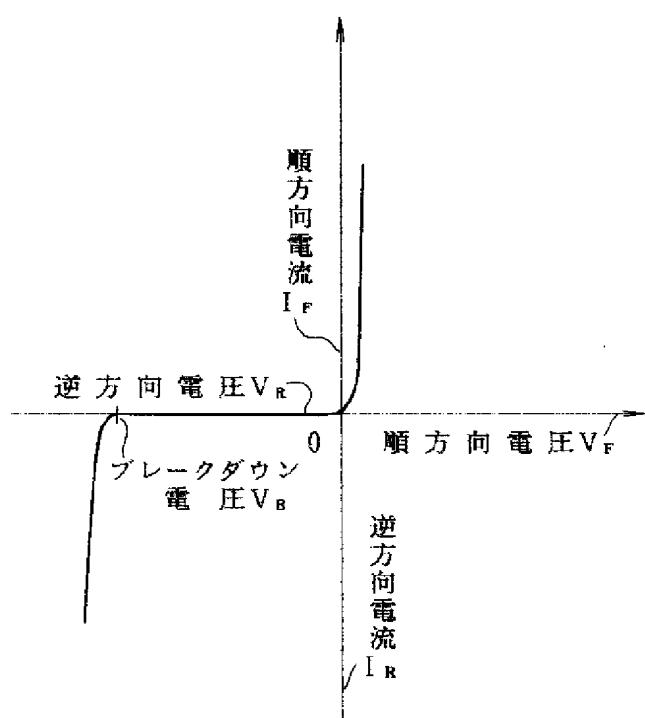


【図9】

【図9】電位分布  $\Delta V_{ma}$ 

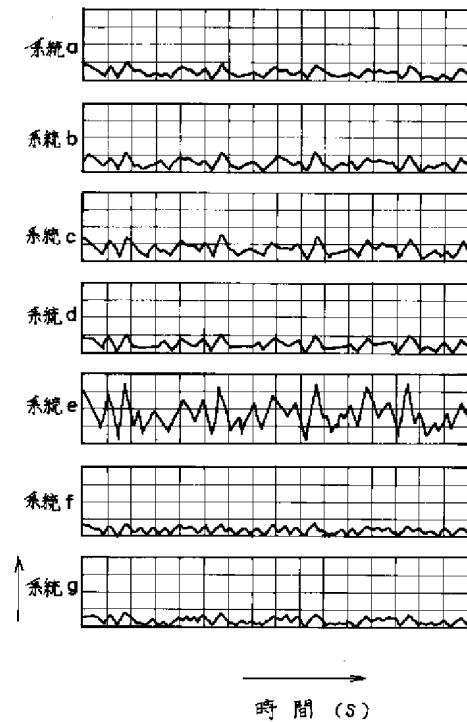
【図4】

【図4】ダイオードの電気特性



【図7】

【図7】信号計測系統の同時サンプル電圧波形



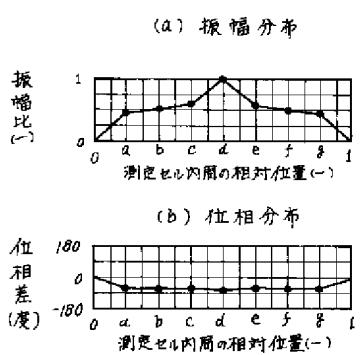
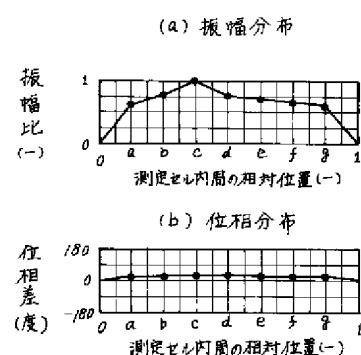
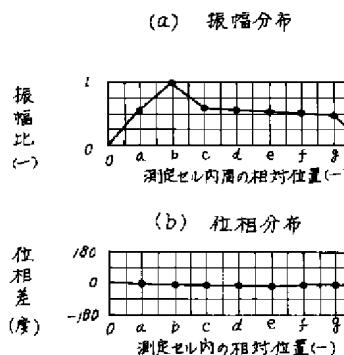
【図10】

【図10】電位分布  $\phi_{mb}$ 

【図11】

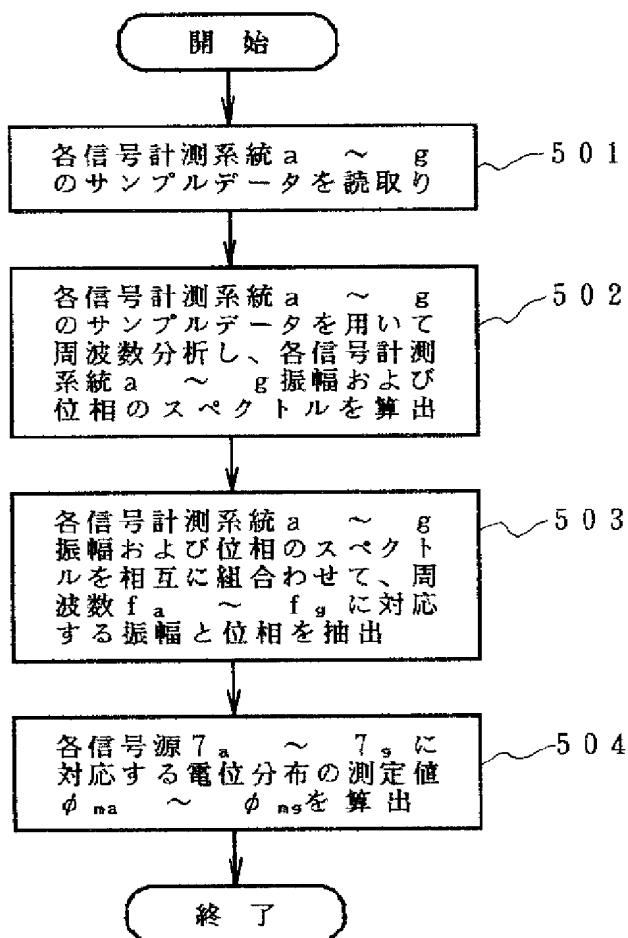
【図11】電位分布  $\phi_{mc}$ 

【図12】

【図12】電位分布  $\phi_{md}$ 

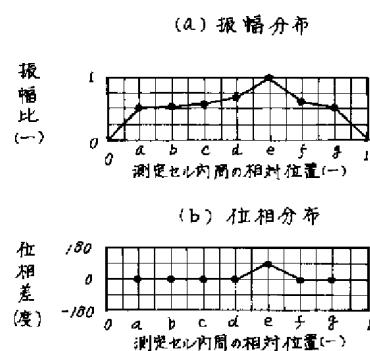
【図5】

〔図5〕 同時サンプルデータから各信号源に対応する電位分布の測定値を求める計算フローチャート



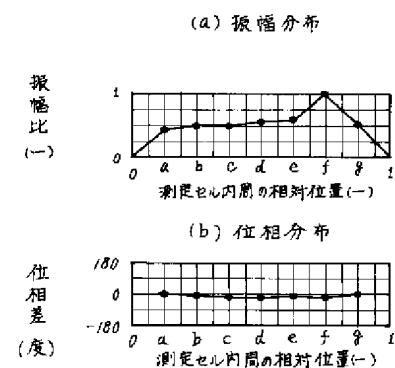
【図13】

〔図13〕電位分布  $\phi_{me}$



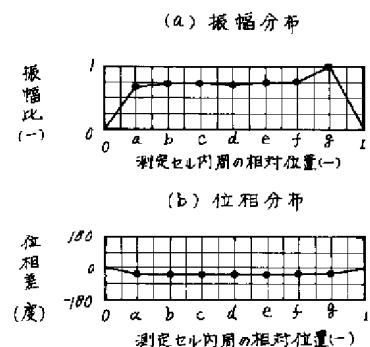
【図14】

〔図14〕電位分布  $\phi_{mf}$



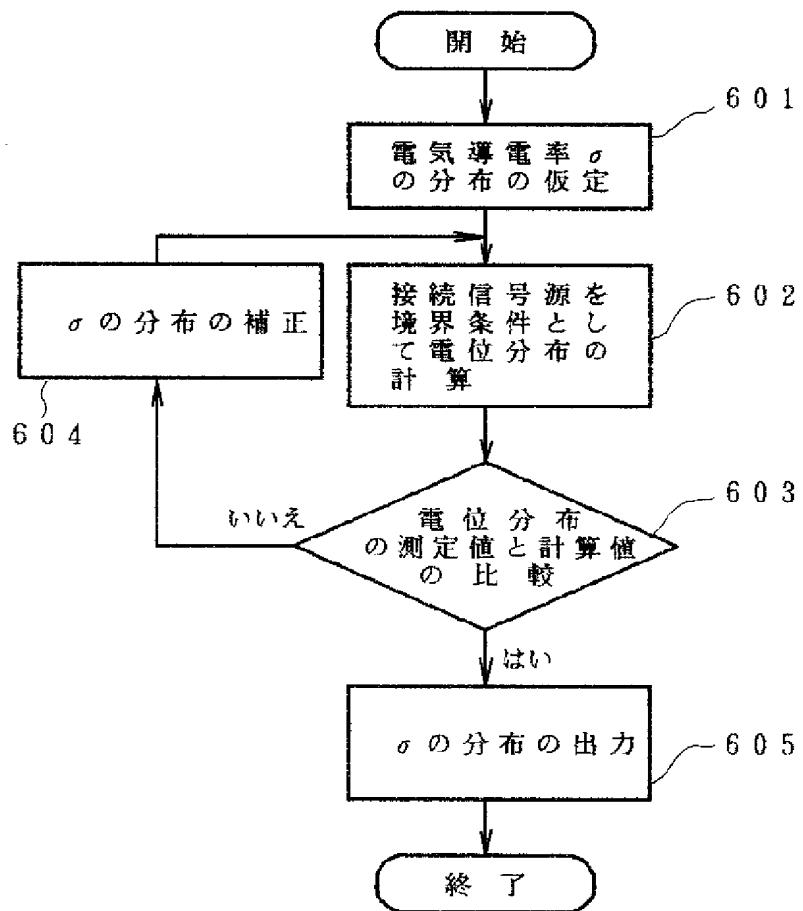
【図15】

〔図15〕電位分布  $\phi_{mg}$



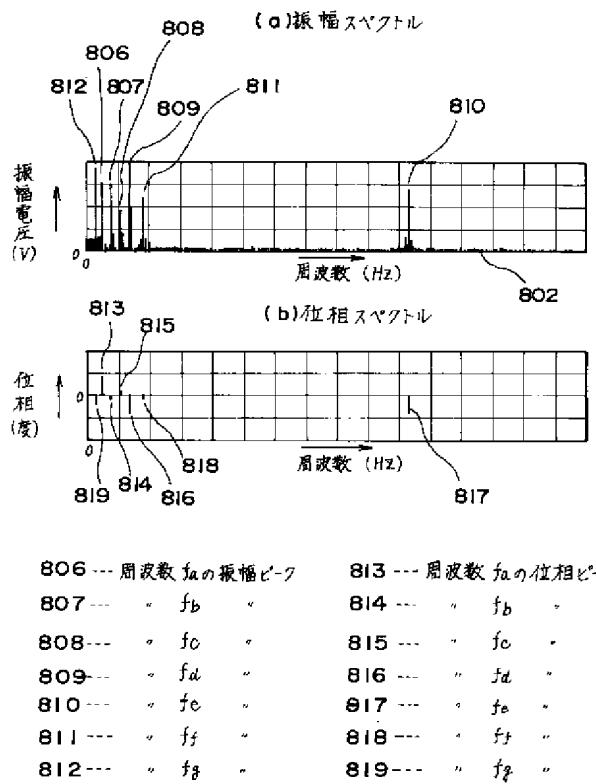
【図6】

## [ 図6 ] 断層像の再構成計算のフローチャート



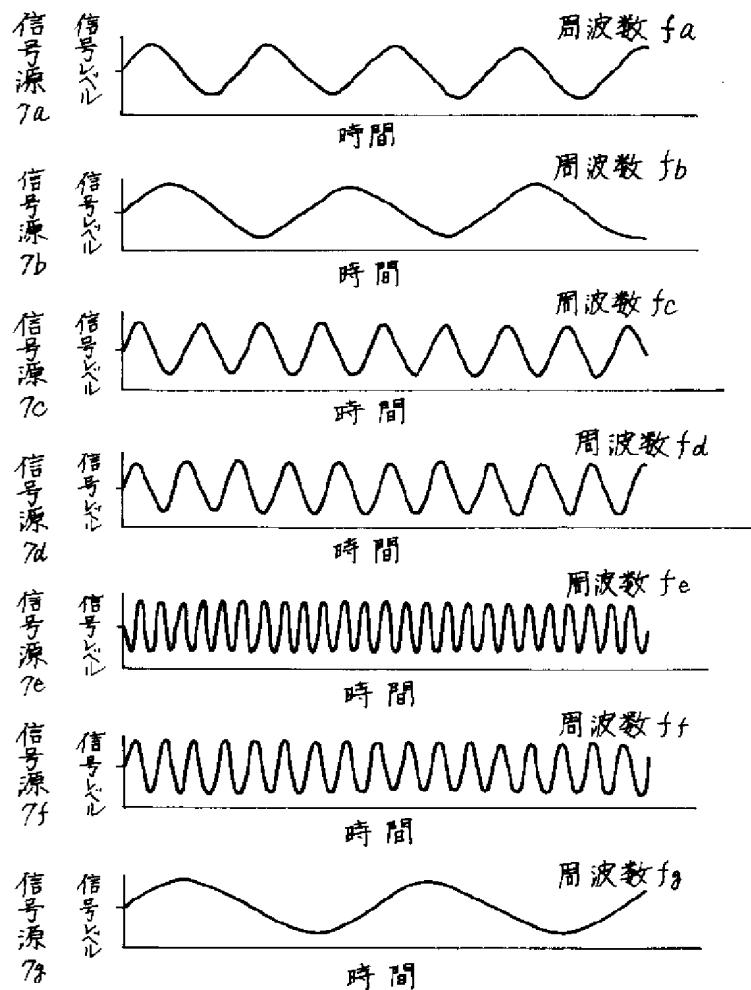
【図8】

【図8】信号計測系統のサンプル信号の周波数分析結果

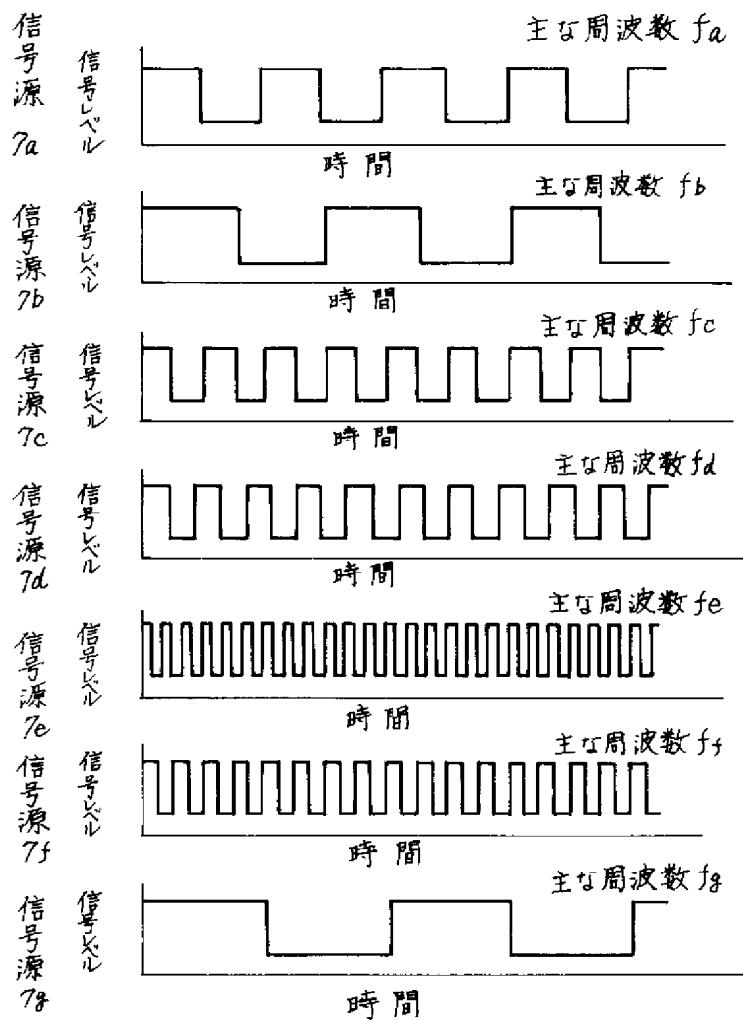


【図16】

【図16】無負荷時における各信号源の信号波形



【図17】

【図17】無負荷時における各信号源の信号  
波形その2

フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 洋明

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日  
立製作所エネルギー研究所内